

Anssi Ronkainen

Tutkimus laitteen liittämiseksi osaksi Internet of Things:iä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

24.11.2017

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Anssi Ronkainen Tutkimus laitteen liittämiseksi osaksi Internet of Things:iä 28 sivua 24.11.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Elektroniikka ja terveydenhoidon tekniikka
Ohjaaja(t)	Tuotekehityspäällikkö Thomas Held, ABB Wiring Accessories Lehtori Janne Mäntykoski, Metropolia Ammattikorkeakoulu
<p>Tämän insinööriyön tarkoituksena oli selvittää, kuinka valmis internet-verkon infrastruktuuri on esineiden internetiä varten. Työssä selvitettiin valmiutta tutkimalla palveluita, joita voidaan saada internetistä, langattomaan verkkoon ja internetiin yhdistämiseen tarvittavaa elektroniikkaa sekä eri langattomia verkkoja, joilla laitteen pystyy yhdistämään internetiin.</p> <p>Työssä käydään projektin eri vaiheet tuotteen ideoinnista ensimmäisiin valmiisiin laitteisiin. Internet-verkon valmiuden lisäksi työssä käsitellään mikrokontrollerin ja selainpohjaisen ohjelman ohjelmointia, joilla piirilevy saatiin yhdistettyä internetiin sekä ohjattua sitä kautta.</p> <p>Työ tehtiin osana ABB Wiring Accessories:n tuotekehitysprojehtia, ABB:n Porvoon toimipisteellä. Projektin tavoitteena oli tuoda ABB Wiring Accessoriesin tuotteita langattomasti internetiin. Työn pohjana käytetään projektin aikana suunniteltua tuotetta ja sen kehitysvaiheita.</p> <p>Projektin aikana saatiin valmiiksi useampi piirilevy, jolla voitiin ottaa yhteys internetiin langattomasti ja ohjata sitä internetin kautta. Projekti jatkuu yhä tämän insinööriyön kirjoittamisen aikaan.</p>	
Avainsanat	esineiden internet, langaton, IoT

Author(s) Title	Anssi Ronkainen Study of connecting a device to the Internet of Things
Number of Pages Date	28 pages 24 November 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electronics
Instructor(s)	Thomas Held, R&D Manager at ABB Wiring Accessories Janne Mäntykoski, Senior Lecturer at Metropolia UAS
<p>The objective of this study was to find out how ready the infrastructure of the internet is for the Internet of Things. The readiness was examined by researching services found in the internet, electronics needed to connect to wireless networks and to the internet, and different wireless network protocols needed to make the device wirelessly connected to the internet.</p> <p>The projects phases from the idea of the product to the first working devices are covered in this thesis. In addition to the readiness of internets infrastructure research, this thesis also looks into the coding of the microcontroller which enables the circuit board to connect to the internet, and browser application which allows the user to control it using an internet browser.</p> <p>This study is based on the research and development done in a project at ABB Wiring Accessories in Porvoo. The projects goal was to connect Wiring Accessories' products to internet via wireless connection.</p> <p>Several circuit boards with wireless internet connectivity were manufactured during this project. The project is still on-going during the writing of this thesis.</p>	
Keywords	internet of things, wireless, IoT

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Laitteen liittäminen esineiden internetiin	3
2.1	Internet ja Internet of Things	3
2.2	Elektroniikka	4
2.3	Langattomat verkot	5
3	Internetin valmiudet laitteen liittämiseksi esineiden internetiin	8
4	Haasteet laitteiden liittämisessä esineiden internetiin	11
4.1	Verkot	11
4.2	Elektroniikkasuunnittelu	14
4.3	Palvelut	15
4.4	Mikrokontrollerin ohjelmointi	16
5	Ratkaisut laitteiden liittämiseksi esineiden internetiin	17
5.1	Verkot	17
5.2	Elektroniikkasuunnittelu	18
5.3	Palvelut	22
5.4	Ohjelmointi	23
6	Yhteenveto	26
	Lähteet	29

Lyhenteet

5G	Viidennen sukupolven matkapuhelinverkko, johon on luvattu parempia ominaisuuksia kuin 4G:hen, erityisesti esineiden internetin kannalta.
AES128	Advanced Encryption Standard. Suomeksi kehittynyt salausstandardi. Tiedon salausmenetelmä, joka käyttää 128 bittiä salaukseen.
ESP-IDF	Espressif Internet of Things Development Framework. Espressif –yhtiön tekemä ohjelmointiympäristö, joka on tehty heidän piirilevyjensä ohjelmointiin, erityisesti esineiden internetiä varten.
FSK	Frequency Shift Keying. Suomeksi taajuusavainnus. Digitaalisen signaalin modulaatiotapa, jossa signaalin taajuuksia vaihdellaan niin, että saadaan parempi tiedonsiirtokyky.
FTP	File Transfer Protocol. Protokolla, jota käytetään tiedostojen siirtämiseen.
HTML	Hypertext Markup Language. Kieli, jolla internet sivut kirjoitetaan.
IoT	Internet of Things. Suomeksi esineiden internet. Pienten laitteiden ja koneiden liittyminen internet-verkkoon.
IP	Internet Protocol. Suomeksi Internet protokolla. Mahdollistaa tietopakettien kulkemisen lähettäjältä oikealle vastaanottajalle.
LPWA	Low Power Wide Area. Suomeksi pieni teho, suuri alue. Langaton verkko-tekniikka, jossa käytetään matalaa taajuutta, että saataisiin mahdollisimman pienellä teholla mahdollisimman pitkä kantavuus.
M2M	Machine-to-Machine. Laitteiden välinen tiedonsiirto verkossa ilman palvelinta tai muuta viestinvälittäjää.
NTC	Negative Temperature Coefficient. Suomeksi Negatiivinen lämpötilakerroin.

NTP	Network Time Protocol. Protokolla, jolla saadaan täsmällinen kellonaika yhdistämällä useita lähteitä ja vertailemalla niitä keskenään. SPI Serial Peripheral Interface. Synkroninen sarjaliikenneliitäntä, jota käytetään lyhyiden matkojen tiedonsiirtoon sulautetuissa järjestelmissä.
USB	Universal Serial Bus. Standardi kaapeleille, liittimille ja tietoliikenneprotokolleille, joita käytetään elektroniikassa, yleisimmin tietokoneissa.
Wi-Fi	Langattoman lähiverkon tekniikka, joka on Wi-Fi Alliancen rekisteröity tavaramerkki.
WLAN	Wireless Local Area Network. Langaton lähiverkko, johon voidaan liittää erilaisia verkkolaitteita, tyypillisesti tietokoneita.

1 Johdanto

Internet on ollut arkipäivää jo kaksi vuosikymmentä. Se alkoi yleistyä 1990-luvun lopussa ja nykypäivänä on lähes koko Suomen alueella mahdollista yhdistää laitteensa internetiin matkapuhelinverkon kautta. Internetiin yhdistäminen on tehty erittäin helpoksi, mikä mahdollistaa yksittäisten sensoreidenkin yhdistämisen internetiin suhteellisen edullisesti. Suomessa laajakaistainen internetyhteys on perusoikeus. [1.] Esineiden internet on tulossa jokapäiväiseen elämäämme, ja se tuo tullessaan uusia haasteita sekä mahdollisuuksia.

Insinööriyön tavoite on selvittää, kuinka valmis internet-verkon infrastruktuuri on kovaa vauhtia arkipäivään tulevaa esineiden internetiä varten. Työ tehtiin tuotekehitysprojektina ABB Oy:n Porvoon toimipisteellä. Projektissa tuotiin yrityksen tuotteita langattomasti internet-verkkoon. Projekti aloitettiin huhtikuussa 2017 ja jatkuu edelleen insinööriyön kirjoituksen aikaan. Projektiin kuuluivat tuotekehityspäällikkö, projektin vetäjä, kesäksi 2017 palkattu ohjelmoija ja elektroniikkasuunnittelija, joka on tämä työn tekijä.

Tämän työn alussa selvitetään, mitä tarkoittaa esineiden internet, internet, langattomat verkot sekä niihin tarvittava elektroniikka. Sen jälkeen työssä esitellään projektin konkreettista kulkua, sen alkuvaiheita ja tuotteen ideointia. Projektin kannalta olennaisiksi tarkasteltaviksi osa-alueiksi valikoituivat verkot, elektroniikkasuunnittelu, palvelut sekä ohjelmointi. Näitä osa-alueita on tässä työssä käytetty otsikoina ja työn rakenteen perustana. Kolmannessa luvussa käydään läpi, mitä eri vaihtoehtoja eri osa-alueilla on tarjolla ja kuvaillaan niitä. Luvussa neljä selvitetään eri vaihtoehtojen hyviä ja huonoja puolia projektin laitteen näkökulmasta. Viidennessä luvussa esitellään, mihin ratkaisuihin päädyttiin ja kuinka niiden ongelmat ratkaistiin. Työn loppuun on koottu yhteenveto, jossa käydään läpi työn tulokset.

Insinööriyö tehtiin ABB Oy:n Porvoon yksikölle. ABB Oy on perustettu vuonna 1988 Sveitsissä, Zürichissä, kun ASEA ja Brown Boveri yhdistyivät ABB Groupiksi. ABB Oy tarjoaa sähköistystuotteita, robotteja, liikkeenohjausta, teollisuusautomaatiota ja sähköverkkoratkaisuja. ABB Oy toimi Suomessa ennen vuotta 1986 nimellä Strömberg Oy, jolloin ASEA osti yrityksen. [2.]

ABB Oy:n Porvoon yksikössä suunnitellaan, valmistetaan, pakataan ja markkinoidaan asennustarvikkeita ja –kalusteita pääasiassa talosähköasennuksiin. Tehdas on perustettu vuonna 1998 ja se siirtyi ABB Oy:n omistukseen vuonna 2009, jota ennen sen omisti Ensto Oy. [3.]

2 Laitteen liittäminen esineiden internetiin

2.1 Internet ja Internet of Things

Internet on maailmanlaajuinen verkko, joka koostuu useista toisiinsa kytketyistä verkoista. Verkot koostuvat useista tietokoneista, jotka ovat kytketty verkoksi. Internet-palveluntarjoajat yhdistävät yksittäiset kotiverkot palveluntarjoajan omaan verkkoon, jotka taas yhdistävät omat verkkonsa muihin verkkoihin. Lopputulos on se, että kaikki maailman laitteet, joilla on internetiin pääsy, on kytketty toisiinsa. [4.]

Internet of Things, suomeksi esineiden internet, tarkoittaa esineiden, ihmisten, järjestelmien ja tiedonlähteiden infrastruktuuria, jossa ne ja älykkäät palvelut yhdessä voivat käsitellä tietoa fyysisestä ja virtuaalisesta maailmasta ja toimia saadun tiedon mukaan [5, s. 4]. Nykyisin maailmassa on noin 2,5 miljardia laitetta yhteydessä internetiin ja luku voi kasvaa jopa 100 000 miljardiin, mikäli esineiden internet leviää koko maailmaan [6, s. 6].

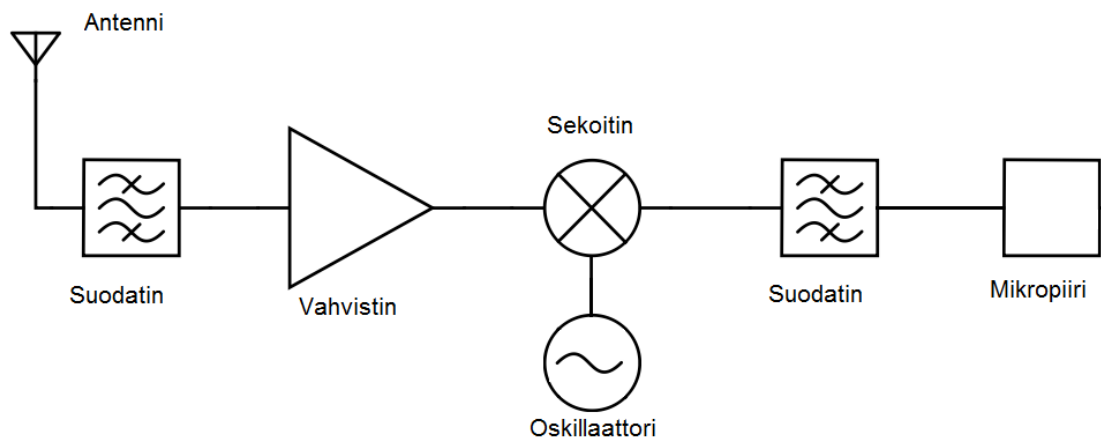
Laitteen yhdistämiseksi esineiden internetiin vaaditaan laite, jolla on kyky yhdistää internetiin, joko langallisesti tai langattomasti. Tämä laite sitten ottaa internetistä tietoja, joita voidaan käyttää hyväksi laitteen toiminnassa tai sen ohjauksessa. Tiedot saadaan internetiin tuotetuista palveluista ja palveluntarjoajana voi toimia kuka tahansa taho.

Esineiden internetiä varten on kehitetty useita langattomia ratkaisuja, jotka tuovat entistä enemmän kantamaa ja varmuutta verkkoon. Tulevaisuudessa on tarjolla uuden sukupolven matkapuhelinverkko, 5G, jolle povataan mullistavan matkapuhelinverkkotekniikan lisäksi erityistä asemaa myös IoT:n saralla. [7.]

5G:n luvataan luovan esineille täydellisen verkon, todellisen esineiden internetin, jossa pienillä laitteilla ei ole vain yhteys internetiin, vaan ne pystyvät välittämään tietoa toisilleen ilman yhteyttä palvelimeen tai muuhun ohjaavaan laitteeseen, joka nopeuttaa tiedon kulkua. [6.] Tätä kutsutaan M2M-yhteydeksi, eli kahden laitteen väliseksi yhteydeksi, jossa ei ole reititintä eikä palvelinta välissä. [8.]

2.2 Elektroniikka

Esineiden internetiin yhdistettävä laite tarvitsee tavan yhdistää internetiin, joka toteutetaan langattomalla verkkotekniikalla. Saadakseen yhteyden langattomaan verkkoon elektroniikalta vaaditaan mikropiiri, joka tukee käytettävää langatonta verkkotekniikkaa. [9; 10; 11]. Mikropiiriin lisäksi tarvitaan antenni, joka mahdollistaa yhdistämisen langattomaan verkkoon, eli tiedon vastaanottamisen ja lähettämisen verkon sisällä [12, s. 39].



Kuva 1. Kaavio radiolähetyksen vastaanottamiseen tarvituista radioteknisistä komponenteista

Kuvassa 1 on peruselementit, joita tarvitaan langattomasti lähetetyn signaalin vastaanottamiseen. Vastaanotto alkaa antennista. [12, s. 39]

Antenniin indusoituu jännite alueella olevasta sähkömagneettisesta säteilystä. Antennina toimii mikä vain johdin, mutta suunnittelemalla antenni saadaan lähettämään ja vastaanottamaan haluttua taajuutta. Antenni voidaan suunnitella toimimaan paremmin johonkin tiettyyn suuntaan tai vastaanottamaan tiettyä taajuutta paremmin. [13, l. 89, s.14.]

Koska antenni vastaanottaa kaiken alueella olevan sähkömagneettisen säteilyn, siitä pitää karsia ne säteilyt, joita ei tarvita. Tämän takia heti antennin jälkeen tarvitaan suodatin, jotka suodattaa laitteen kannalta väärät taajuudet pois alentamalla niiden jännitetasoa niin alhaiseksi, että niitä voidaan pitää taustakohinaa. Sen jälkeen antenniin saatu ja suodatettu signaali vaatii vahvistamista, sillä sen tehotaso on hyvin alhainen jo antenniin tullessaan. Suodatin laskee sen tehoa entisestään ja se häviää kohinaan seuraavassa vaiheessa signaalin vastaanottoa, ellei sitä vahvisteta. [14, s. 5]

Seuraavaksi signaali tulee saada mikropiirille helpommin käytettävään taajuuteen, sillä korkeita taajuuksia on hankala käsitellä mikropiirillä. Signaali saapuu sekoittimeen, johon tuodaan oskillaattorista toinen taajuus. Signaaliin sekoittuu useita taajuuksia, joista toiset ovat vastaanotettua signaalia matalemmalla taajuudella ja toiset ovat korkeammalla taajuudella seuraavan kaavan tapaan:

$$F_o = mF_{RF} \pm nF_{LO}$$

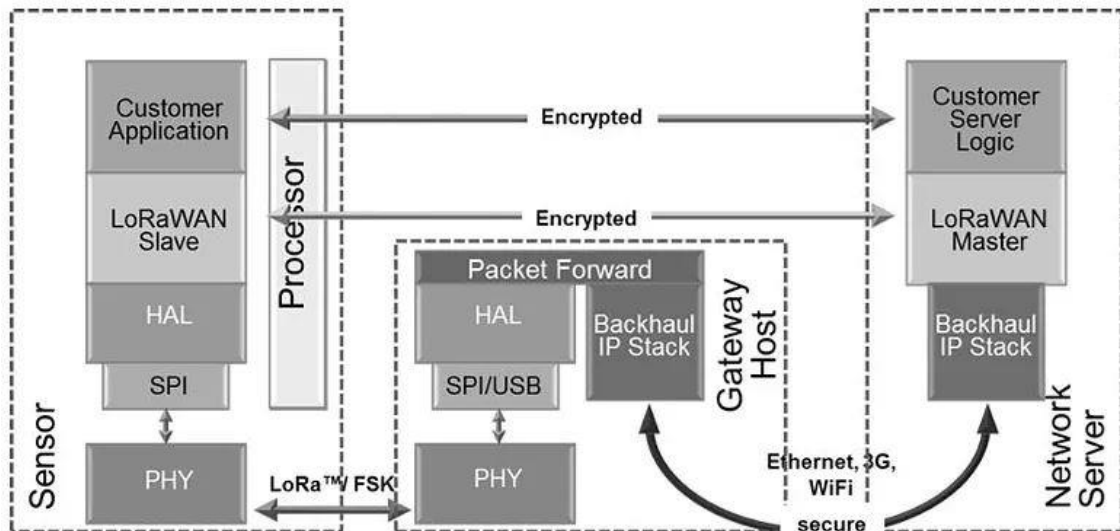
jossa F_{RF} on vastaanotettu taajuus, F_{LO} on oskillaattorin taajuus, m ja n ovat joko 0 tai luonnollisia lukuja (0, 1, 2, 3,... n) [14, s. 10].

Uusista syntyneistä taajuuksista saadaan haluttu matalempi taajuus, välitaajuus, jota on helpompi käsitellä piirilevyllä. Tämän jälkeen signaali jatkaa suodattimen läpi, jotta välitaajuus on ainoa taajuus, jota ollaan käsittelemässä. [14, s. 10]

Mikropiirillä välitaajuuksinen signaali demoduloidaan, joka tuo signaalin takaisin siihen muotoon, jossa se lähetettiin ja tieto voidaan lukea. Signaalin lähetys on lähes sama kuin vastaanotto, mutta asiat tapahtuvat päinvastaisessa järjestyksessä. Signaali moduloidaan, siitä suodatetaan ylimääräiset taajuudet pois, lähetetään sekoittimeen sekä suodatetaan sekoittimen luomat ylimääräiset taajuudet, vahvistetaan ja lähetetään antennilla ilmaan. [15, s. 12-13.]

2.3 Langattomat verkot

Langaton verkko toteutetaan radiotekniikan avulla. Kuvassa 2 on LoRa-verkon, eli Long Range, suomeksi pitkä kantavuus, tiedonsiirtoprotokolla. Kuvasta nähdään, että internetiin yhdistäminen langattomassa verkossa vaatii erillisen reitittimen, joka muodostaa verkon, johon verkkoon haluttavat laitteet yhdistyvät. Reititin sitten yhdistetään internetiin esimerkiksi Ethernet-kaapelilla, jolloin reititin pystyy lähettämään ja vastaanottamaan tietoa langattomasti ja välittää sitä kaapelia pitkin eteenpäin internetiin.



Kuva 2. LoRa-verkon tiedonsiirtoprotokolla [16].

Kuvassa 2 on LoRa-verkon tiedonsiirtoprotokolla, mutta sen avulla voi selittää hyvin lähes minkä tahansa langattoman verkon toiminnan perusteet [16, 17, 18]. Vasemmalla olevassa laatikossa on käytettävä laite, sensori tai muu elektroninen väline, joka halutaan liittää internetiin langattomasti. Keskellä on reititin, joka muodostaa verkon, johon kaikki halutut laitteet yhdistyvät saadakseen internet-yhteyden. Oikealla on internetpalvelin, johon halutaan yhdistää internetin kautta. Palvelimelta laite saa toimintaansa tarvitut tiedot.

Yhdistettävässä laitteessa on protokollassa neljä osaa. Prosessorille kuuluu näistä kolme. Ensimmäinen on "Customer Application", joka on asiakkaan oma sovellus, jossa esimerkiksi sensorilta saatu jännite muunnetaan lämpötilaksi. "LoRaWAN Slave" on LoRa-verkkotekniikkaohjelma, joka mahdollistaa yhteyden LoRa-verkkoon. Sen avulla saadaan paketoitua ja avattua tietopaketteja, joita verkossa liikkuu. "HAL" tarkoittaa Hardware Abstraction Layeriä eli rajapintaa sovelluksen ja elektroniikan välillä, jota tarvitaan elektroniikan ohjaukseen koodin avulla. "SPI" on tiedonsiirtoa varten tarkoitettu sarjaliikenneliitäntä eli yhteys prosessorin ja muun elektroniikan välille. "PHY" tarkoittaa fyysistä kerrosta eli piirilevyn elektroniikkaa, esimerkiksi antennia.

Laitteen verkkoon yhdistäminen tapahtuu LoRa-verkkotekniikalla, kuvassa "LoRa™/FSK". FSK, Frequency Shift Keying, tarkoittaa taajuusavainnusta, eli tiedon paketoimista ja lähettämistä niin, että pienemmällä lähetysteholla saadaan suurempi tiedonsiirtokyky [19, s. 15 – 16, 18 – 19]. Tieto kulkee laitteesta tai palvelimelta reitittimelle ja reitittimeltä laitteelle tai palvelimelle.

Reititin on tiedonsiirrossa vain tiedon välittäjä. Kuvassa 2 näkyy reitittimen laatikossa neljä asiaa: "PHY", "HAL", "Packet Forward" ja "Backhaul IP Stack". "PHY" ja "HAL" tarkoittavat samaa kuin lähettävässä laitteessa eli elektroniikkaa ja siihen liittyviä ohjausohjelmia. "SPI/USB" tarkoittaa sarjaliikenneväylää, jolla piirilevyn elektroniikka yhdistetään prosessoriin, joka on joko SPI:llä tai USB:llä toteutettu. "Packet Forward" tarkoittaa paketin edelleenlähettämistä, eli tiedon välittämistä laitteelta palvelimelle tai palvelimelta laitteelle. "Backhaul IP Stack" tarkoittaa listaa niistä IP osoitteista, jotka ovat yhteydessä reitittimeen, niin laitteiden kuin palvelinten [20.]. Jokaisella laitteella ja palvelimella on oma IP-osoite.

Reitittimeltä tieto siirtyy palvelimelle pääsääntöisesti Ethernet-kaapelia pitkin. Se voidaan myös yhdistää langattomasti, mutta silloin reitittimen tulee yhdistää toiseen langattomaan verkkoon, joten silloin reitittimen tulee ottaa toiseen reitittimeen yhteys, joka on yhteydessä internetiin kaapelilla. Tämän lisäksi reititin tarvitsee lisää elektroniikkaa, jolla yhdistää myös toiseen langattomaan verkkoon, jolloin sen hinta nousee huomattavasti. Verkkoon yhdistettävä laite ei siis ole yhteydessä internetiin millään tavalla, vaan siirtää tiedon reitittimelle verkon välityksellä. Reititin välittää tiedon edelleen internetiin, joka ohjaa IP:n avulla tiedon halutulle palvelimelle. Tässä yhteydessä IP-osoitteet tulevat tärkeiksi, sillä muuten tietoa ei voitaisi yhdistää oikeaan laitteeseen. [16.]

Palvelimen laatikosta löytyvät "Backhaul IP Stack", "LoRaWAN Master" ja "Customer Service Logic". IP-osoitteiden merkitys kasvaa palvelimella, sillä sen toiminta on pelkkää koodia. Se on täysin tietämätön kaikesta elektroniikasta ja se toimii pelkästään niin kuin se on ohjelmoitu tekemään. IP-osoitteet kertovat mistä tietoa on tullut ja mihin sitä tulee lähettää. "LoRaWAN Master" on LoRa-verkon toimintaa ohjaava ohjelma, joka kertoo muille verkossa olijolle mitä niiden pitää tehdä. "Customer Service Logic" on asiakkaan oma ohjelma, jolla ohjataan koko systeemiä. Sen avulla voidaan esimerkiksi vastaanottaa lämpötilatieto sensorilta, todeta sen olevan liian suuri ja lähettää toiselle laitteelle tieto, että sen tulee nostaa ilmanvaihdon tehoa.

Tämän lisäksi kuvassa näkyy kaksi nuolta, jossa lukee "Encrypted". Tämä tarkoittaa sitä, että palvelin ja laite eivät huomaa reititintä välissä ja tieto reitittimen läpi ilman tietoa sen tapahtumasta vastaanottajalle. Lisäksi LoRa-verkkotekniikkaan kuuluu salaus, joka lisätään tietopakettiin, kun lähetettävää tietoa ollaan paketoimassa. Käytettävä salaus on AES128, jossa salausohjelma luo salausavaimen tietopakettia tehdessä ja tämän salausavaimen tietävät vain tiedon lähettäjä ja vastaanottaja.

3 Internetin valmiudet laitteen liittämiseksi esineiden internetiin

Keväällä 2017 aloitettiin ABB:n Porvoon toimipisteellä projekti, jossa tutkittiin mahdollisuuksia liittää Porvoon tehtaan tuotteita internetiin. Projektiin palkattiin kaksi kesätyöntekijää, toinen ohjelmointiin ja toinen elektroniikkasuunnitteluun. Projektia vetivät kaksi vanhempaa työntekijää, tuotekehityspäällikkö ja projektin vetäjä. Projektin tavoite oli tutkia internet-verkon valmiuksia esineiden internetiin. Lisäksi projektissa käytettiin mekaniikkasuunnittelijoita, jotka suunnittelivat laitteille muoviosat.

Projekti aloitettiin miettimällä, mitä ominaisuuksia esineiden internetiin liitettävälle laitteelle halutaan ja kuinka ne toteutetaan. Lähtökohta oli idea IoT-laitteesta, joka mahdollisesti toteutettaisiin Genuino MKR1000-piirilevyllä tai muulla vastaavalla ja sillä testattaisiin nykyisiä yrityksen tuotteita ja palveluita internetiin yhdistettynä. Genuino on Arduinon Euroopassa myytyjen tuotteiden nimi tekijänoikeudellisista syistä. [21.]

Laitteen vähimmäisvaatimuksena oli ohjaus internetin kautta selainpohjaisella ohjelmalla ja lisäksi toivottiin sensoritietoja, hälytyksiä ja yhteyttä muihin laitteisiin. Muita ehdotettuja ominaisuuksia olivat Android ja/tai iOS applikaatio, jolla laitetta voisi ohjata.

Näistä ominaisuuksista jätettiin osa pois tässä työssä, sillä niitä ei oltu ehditty insinöörityön kirjoittamisen aikaan saamaan tarpeeksi valmiiksi.

Verkot

Työssä tutkittiin langattomia verkkoja, joilla laite voitaisiin yhdistää internetiin. Langattomia verkkoja rakennetaan kahdella eri tavalla: verkot, jotka toimivat isolla alueella radio-tornien kautta (esimerkiksi GSM, LoRa) [16, 22], ja verkot, jotka luodaan paikallisesti reitittimien kautta (esimerkiksi WLAN). [18.]

Elektroniikkasuunnittelu

Työn elektroniikkasuunnittelu aloitettiin valitsemalla piirilevy, jonka avulla saataisiin kaikki tuotteen halutut ominaisuudet. Työssä kokeiltiin monia eri ominaisuuksia yhdessä laitteessa. Näitä ominaisuuksia tutkittiin projektin aikana, joista arvioitiin niiden toteutettavuutta ja myyntikelpoisuutta.

IoT-piirilevyiltä vaaditaan kohtuullista suorituskkyä pyöritettävää ohjelmaa varten sekä valitun langattoman verkon tekniikkaa, jotta se saadaan yhdistettyä langattomasti internetiin. Kehitys aloitettiin Genuino MKR1000-piirilevyllä, joka on tehty juuri IoT-ratkaisuja varten [23] ja sellainen oli hankittu jo ennen projektin varsinaista alkua. Pian kävi kuitenkin ilmi, että elektroniikkaan halutaan myös Bluetooth-yhteys, joten alustaksi valittiin suuren IoT-suosion saaneen Espressif ESP8266:in jatkaja ESP32. ESP32-piirilevystä löytyy Bluetooth sekä WLAN-lähetinvastaanottimet ja sen hinta on hyvin kohtuullinen, joten se oli luonnollinen valinta projektin alustaksi. [24.]

Elektroniikkaan haluttiin langattomien yhteyksien lisäksi myös muita ominaisuuksia. Laitteella haluttiin ohjata pistorasiaa, saada lämpötilatietoa ympäristöstä, näyttää jollain tavalla, mitä levy on tekemässä, ohjata laitetta ilman internet-yhteyttä sekä saada hälytystietoa siirrettyä eteenpäin internetin kautta ja paikallisesti.

Palvelut

IoT-laitteeseen tarvitaan palveluita, jotta se pääsee hyödyntämään sen langatonta yhteyttään internetiin. Palveluilla tarkoitetaan muiden yritysten tai yksittäisten henkilöiden tarjoamia palveluja, joita voidaan käyttää hyväksi tuotteessa. Projektiin kaavailtuihin palveluihin kuuluivat lämpötilatieto, sähkön tuntihinta ja kosteusvahti Bluetooth-yhteydellä. Lämpötilatietoja on mahdollista saada monilta eri internet-sivuilta, mutta niiden luotettavuutta on vaikea tietää etukäteen. Kokeilematta niistä on hankala tietää, pysyykö palvelin päällä aina, kun tietoa tarvitaan, onko saatu tieto oikea, päivittyykö se tarpeeksi usein ja millaiset käyttöoikeudet siihen on.

Internet on täynnä erilaisia palveluja. Jotkut niistä maksavat, toiset ovat ilmaisia. Kiinnostus näihin palveluihin on kasvanut valtavasti viime vuosina ja yhä useampi yritys on alkanut tarjota palveluja internetissä. Suurin ongelma internetpalveluissa on niiden toimintavarmuus. Jopa isojen toimijoiden, kuten Googlen, sivustot kaatuvat välillä [25], joten täysin varmaa ylläpitäjää ei ainakaan vielä ole. Katkoksia yhteyksissä aiheuttavat sähkökatkot palvelinkeskuksissa, palvelunestohyökkäykset ja muut hakkeroinnit sekä ongelmatilanteet ohjelmoinnissa.

Mahdollisia sähkökatkoksia voivat aiheuttaa luonto, esimerkiksi myrskyt ja ukkonen, työnseisaukset, huoltotoimenpiteet ja muut poikkeustilanteet, kuten sota.

Palvelunestohyökkäyksiä tehdään paljon ja ne ovat melko helppo toteuttaa, kun tietää mitä tekee [26, 27, 28, 29]. Usein palvelunestohyökkäys toteutetaan ohjausohjelmalla saastutetuilla tietokoneilla. Saastuneet koneet hakkeri saa käyttöönsä joko ostamalla saastutettuja tietokoneita tai itse saastuttamalla tietokoneita internetin välityksellä. Tämä ohjausohjelma mahdollistaa hyökkääjän ohjaamaan monet tietokoneet ottamaan yhteyden samanaikaisesti tiettyyn osoitteeseen, joka yleensä johtaa palvelimen kaatumiseen, ellei sitä vastaan ole suojauduttu. Hyökkäyksillä ei monesti ole suurta vaikutusta yrityksen liiketoimintaan, mutta sen imago saattaa kärsiä ja siitä aiheutuu pientä haittaa asiakkaille. [30.]

Muulla hakkeroinnilla tarkoitetaan kaappaus- tai lukitusohjelmia, joilla hyökkääjä saa vähintään lukittua kohdetietokoneen niin, että sitä ei voi käyttää, esimerkiksi toukuussa 2017 monet koneet altistanut WannaCry –ohjelma, joka lukitsi saastuneiden tietokoneiden kovalevyt niin, että niitä ei voinut käyttää. [31.]

Ongelmatilanteet, jotka aiheutuvat palvelun ohjelmoinnista, ovat yleensä huonon ohjelmoinnin tulos. Nämä viat ovat yleensä muistivuotoja, jossa koodi jatkaa muistin täyttämistä tiedolla, joka olisi pitänyt poistaa aikaisemmassa vaiheessa. Kun tietoa on kertynyt liikaa, tietokone ei jaksakaan enää pyörittää koodia, sillä sen koko muisti on käytössä. Tämän tyyppiset viat ovat monesti helposti korjattavissa, mutta erityisesti harrastelijamielessä ylläpidetyillä palveluilla on suuri todennäköisyys olla huonosti koodattuja, joko ajanpuutteen tai osaamattomuuden johdosta [32]. Ongelmatilanteita voivat myös aiheuttaa eri versioinnit, käyttöliittymät tai muut ohjelmiin liittyvät yhteensopivuusongelmat.

Ohjelmointi

Jotta piirilevyt saataisiin toimimaan halutulla tavalla, tulee ne ohjelmoida. Helpoin tapa ohjelmoida piirilevyn mikrokontrolleri on USB-kaapelin kautta, sillä tietokoneissa on yleensä valmiiksi tarvittavat ohjelmat USB-yhteyttä varten, mutta mikä tahansa yhteys tietokoneen välillä mahdollistaa ohjelmoimisen. Ohjelmointiin tarvitaan yleensä erillinen ohjelma tai kirjasto, joka kääntää kirjoitetun koodin sopivaksi mikrokontrollerille, jotta se ymmärtää sille annetut käskyt. Erityisen tunnettu ohjelmointiohjelma tai ohjelmointiympäristö on Arduino, joka on noussut hyvin suosituksi sen helppouden takia. Siihen on yksinkertaista lisätä mikä tahansa piirilevy, tehdä siihen koodikirjastot ja sen jälkeen voi aloittaa ohjelmoinnin. [33.]

Mikrokontrollerin ohjelmoinnin lisäksi projektissa tarvittiin selainohjelmointia. Piirilevyä haluttiin ohjata langattomasti internetin välityksellä ja tämä onnistuu helpoiten käyttämällä selainpohjaista ohjelmaa, johon syöttämällä käskyjä voidaan ohjata piirilevyä. Toinen vaihtoehto on tehdä matkapuhelimeen sovellus, joka tekisi samat asiat. Sen ongelmana on se, että ihmisten puhelimissa on jo niin paljon applikaatioita, että he eivät halua enempää, ellei se ole täysin välttämätöntä. Sovelluksen kautta kuitenkin voidaan lisätä ilmoituksia puhelimeen, mikä on hyvä lisä erityisesti mahdollisia vaaratilanteita aiheuttaviin laitteisiin.

4 Haasteet laitteiden liittämisessä esineiden internetiin

4.1 Verkot

IoT:n suurin haaste ja valtti on langattomuus. Nykytekniikalla langattomuus on suhteellisen helppo toteuttaa, mutta kun mietitään kustannuksia, langattomuus aiheuttaa hienoisenn hinnan nousun tuotteeseen. Suurin osa langattomista laitteista tarvitsee erillisen reitittimen, jolla verkko saadaan luotua. Toinen vaihtoehto on käyttää alueellista verkkoa, esimerkiksi LoRa-verkkoa, jonka käyttämiseen vaaditaan erillinen liittymä.

Reitittimellä luodut verkot ovat suosituimpia IoT-laitteissa. WLAN-verkon avulla saadaan helposti ja nopeasti mikä tahansa laite verkkoon. Vaikka IoT-laitteet itsessään ovat langattomia, reitittimeen yhdistettäessä tulee reitittimen olla yhteydessä internetiin tavalla tai toisella. Yleensä reititin on langalla kiinni internetissä, joten laitteiden liikuteltavuus on rajattu reitittimen kantamaan. Tämä toimii erinomaisesti silloin, kun etäisyydet eivät ole liian pitkiä ja laitteita ei juuri tarvitse liikutella. Reititin voi myös olla langaton, mutta silloin käytetään alueellista verkkoa ja silloin tarvitaan yhden langattoman laitteen sijaan kaksi, joka voi tarkoittaa kahden eri verkkotekniikan käyttöä. Ongelma reitittimissä on niiden hinta. Verkkoon liitettävät laitteet voivat olla hyvinkin halpoja, mutta reititin tarvitsee melko suuren lähetystehon ja suuremman virtalähteen, joten koko paketin hinnasta voi reitittimen osa olla reilusti yli puolet.

Alueellista verkkoa käytettäessä on laitteiden liikuteltavuus erittäin hyvä [34, s. 16]. Hyvänä esimerkkinä tästä on matkapuhelinverkko, joka kattaa lähes koko Suomen alueen useamman operaattorin toimesta. Nykyisissä älypuhelimissa on pieni antenni ja pieni

lähetysteho, mutta silti sillä saavutetaan yhteys internetiin lähes missä vain. Suuremman antennin lisääminen tuo huomattavasti enemmän kantavuutta laitteeseen.

Erityisesti kaukana sijaitsevat mittauskohteet suosivat alueellisen verkon käyttämistä. Esimerkiksi kaukaisten mittauskohteiden tarkkailuun on helpompi lisätä yksi langaton laite tietyin välimatkoin tarkkailemaan tilannetta sen sijaan, että jouduttaisiin kilometrien matkalle vetämään kaapelia, jonka toimintavarmuus laskee ajan mittaan ja sääolosuhteiden mukaan tai tarkistamaan sensorit manuaalisesti.

Tutkittavina verkkovaihtoehtoina olivat WLAN, Bluetooth, SigFox ja LoRa. Ne ovat kaikkien yleisimpiä, niistä löytyvät hyvät dokumentaatiot ja ohjeet käyttöönottoon, joten niiden ohjelmointi ja käyttöönotto on helpointa toteuttaa.

SigFox ja LoRa ovat pienen tehon ja pitkän kantaman verkkoja (Low Power Wide Area). LPWA on erittäin hyvä ratkaisu langatonta verkkoa mietittäessä ja yritykset mainostavatkin niitä IoT-verkkoina. Sen suurin etu on se, että sillä voidaan lähettää tietopaketteja pitkiäkin matkoja suhteellisen pienellä teholla. Ne toimivat molemmat Euroopassa 868 MHz taajuusalueella. [34, s. 3, 4, 12; 35.]

LoRa tulee sanoista Long Range, suomeksi pitkä kantavuus. Se voidaan muodostaa paikallisesti kuten WLAN, mutta sillä on pidempi kantavuus lähetystehtoon nähden, sillä sen taajuus on alempi. LoRa-verkon kautta ei kuitenkaan pysty lähettämään suuria datapaketteja, joten esimerkiksi tiedostojen lähetyks on erittäin hidasta tai jopa mahdotonta. LoRa-Alliance mainitsee LoRa-verkon parhaaksi vastaanottonopeudeksi 50 000 bittiä per sekunti, joka on 6,25 kilotavua sekunnissa. [36.]

Paikallisen verkon lisäksi LoRa-verkkoa on mahdollista käyttää Digitan rakentamassa ja ylläpitämässä LoRaWAN-verkossa, jossa radiotorneilla luodaan verkko, joka toimii samalla tavalla kuin matkapuhelinverkko. [37.]

SigFox on hyvin samankaltainen kuin LoRa, ja ne kilpailevat keskenään samoista markkinoista. SigFox on kuitenkin suljetumpi eikä siihen voi tehdä omia ratkaisuja, vaan kaikki tulee tehdä SigFoxin valvonnassa ja sen omilla laitteilla. Siinä lähetettyjen viestien tieto on rajoitettu 12 tavuun ja maksimissaan 140 viestiin päivässä. [38.]

Bluetooth on langaton verkkotekniikka, joka toimii 2,4 GHz:n alueella [39.]. Suuri taajuus mahdollistaa suuremman lähetys- ja vastaanottotehon, joten Bluetoothin avulla voidaan esimerkiksi suoratoistaa ääntä ja jopa joissain tapauksissa videota. [40.] Bluetooth on panostanut viime aikoina IoT-ratkaisuihin tuomalla Bluetooth-verkkoihin mesh-mahdollisuuden, jossa jokaisen laitteen erikseen yhteydenottaminen keskukseseen tai reitittimeen voidaan väistää niin, että jokainen verkossa oleva laite ylläpitää verkkoa, jolloin verkon kuuluvuus kasvaa merkittävästi. Tästä on hyötyä erityisesti talojen sisällä, missä on paljon signaalia heijastavia ja estäviä esteitä, mutta ei kuitenkaan varsinaisesti lisää verkon kantavuutta, jos laitteita on vain kaksi. [41.] Bluetoothin kantama ei kuitenkaan ole kovin hyvä, projektin aikana tehdyissä testeissä Bluetooth-laitteet eivät enää saaneet yhteyttä muutaman metrin jälkeen ja ulkoseinä esti yhteydenoton lähes kokonaan.

WLAN on tällä hetkellä suosituin langaton verkko matkapuhelinverkon jälkeen. Se on käytössä lähes koko maailmassa ja sen avulla saavutetaan helposti vakaa sekä nopea yhteys internetiin. Se on korkeataajuuksinen lyhyen kantaman verkko, mutta sillä on yllättävän hyvä kantavuus. Sen taajuudet ovat 2,4 GHz, 5 GHz ja erityisen vaativiin tiedonsiirtotarpeisiin 60 GHz. Se on tutkittavista verkoista pisimpään markkinoilla pysynyt verkkotekniikka, joten sen saatavuus ja käytettävyys on hiottu huippuunsa. WLAN muodostetaan paikallisesti reitittimellä, jolloin kaikki lähellä olevan laitteet, joissa on WLAN-verkkotekniikkaa voivat yhdistää reitittimeen. WLAN-verkon tiedonsiirtokyky on kasvanut valtavasti vuosien varrella ja yleisimmin käytetyllä standardilla IEEE 802.11n päästään 600 megatavuun sekunnissa. IEEE 802.11ad standardi käyttää 60 GHz taajuutta, jolla päästään 7 gigatavuun sekunnissa, mutta sillä on hyvin lyhyt kantama ja huono läpäisykyky. [42.]

Uudella, IEEE 802.11ah, standardilla yritetään tuoda WLAN-verkkoa enemmän IoT-maailmaan alentamalla taajuutta 868 MHz:n, jolloin tehonkulutus laskee huomattavasti ja kantavuus sekä läpäisykyky paranee. [43.]

Laitteen testaukseen käytettiin tavallista reititintä, joka käytti standardia 802.11n. WLAN-verkkoon liittyy kuitenkin viime aikoina esillä ollut tietoturvaongelma, jossa osaavat henkilöt voivat tunkeutua WLAN-verkkoon ja päästä käsiksi verkkoon liitettyihin laitteisiin. Hakkerin tarvitsee olla WLAN-verkon kantaman sisällä vakoillakseen verkon toimintaa, mutta salattuja verkkoyhteyksiä ei pysty haavoittuvuuden avulla tarkkailla. Haavoittuvuus korjataan asentamalla uusimmat päivitykset verkkolaitteisiin. [44.]

4.2 Elektroniikkasuunnittelu

Projektin laitteen elektroniikkaa suunnitellessa keskeisiä asioita olivat piirilevyn koko ja komponenttien mahtuminen haluttuun tilaan. Tuotteen haluttiin mahtuvan Impressivomallin kaksoispistorasiaan, sen tuli ohjata pistorasiaa ja sen haluttiin toimivan verkkovirralla. Tästä johtuen elektroniikkaan tuli sisällyttää hakkuriteholähde, rele ja itse ohjauspiiri. Käytettävänä ohjauspiirinä oleva Espressif ESP32 DevKit C on tarkoitettu ESP32 -piirilevyn testaukseen, joten se sopi tähän vaiheeseen hyvin, joskin sen koko aiheutti hieman ongelmia komponenttien sijoittelussa. ESP32 toimii 3,3 voltilla, mutta DevKit C:ssä on USB-portti, johon voi myös lisätä ulkoisen 5 voltin, ei-USB-sisääntulon.

Verkkovirran käyttö laitteessa tarkoittaa tarvetta teholähteelle, joten piirilevyyn tuli mahdollistaa 230 voltista viiteen volttiin vaihtava hakkuriteholähde. Tämä johtaa verkkovirran kulkemiseen piirilevyllä, joten suunnittelussa tuli ottaa tarkasti huomioon verkkovirtaan liittyvät turvallisuusriskit ja piirilevyn turvallisuus tulisi sertifioida, mikäli sitä haluaisi käyttää muualla kuin laboratoriossa.

Pistorasian ohjaukseen tarvitaan rele. Releelle tarvitaan ohjaussignaali ja käyttöjännite, jotta se saadaan toimimaan halutulla tavalla. Releen tulee pystyä katkaisemaan verkkovirtakytkentä ja olla ohjattavissa kohtuullisen pienellä jännitteellä niin, että jännite pystytään tuomaan ohjauspiiristä. Relettä ohjataan ESP32 ulostulolla, mutta signaali ei välttämättä riitä sellaisenaan eikä ESP32 kestä yli 3,3 V:n jännitteitä muissa kuin 5 V:n pinissä.

ESP32 ei yksinään riittänyt täyttämään kaikkia haluttuja ominaisuuksia, vaan tarvittiin myös muita komponentteja. Releen toimintaa täytyi jollain tavalla visualisoida, että käyttäjä tietää mitä laite on tekemässä. Tämä on erityisen tärkeää, kun kyseessä on verkkovirtaa ohjaava laite, sillä verkkovirralla voidaan saada aikaiseksi suurtakin tuhoa, mikäli sitä ei valvota oikein. Esimerkiksi pistorasiaan kiinnitettävä sähköllä toimiva saha voi lähteä päälle, mikäli laite ei toimi oikein tai jännitteettömäksi luultu pistorasia olikin jännitteellinen ja johti sähköiskuun. Releen tilan näyttäjäksi ajateltiin joko näyttöä tai ledejä, jotka indikoisivat eri väreillä laitteen toiminnasta. Laitteen toiminnanohjaukseen haluttiin etäohjauksen ohelle myös laitteeseen painike, jolla laitetta voisi ohjata ilman internetyhteyttä. Lisäksi lämpötilatieto haluttiin saada myös piirilevyiltä itseltään internetistä saadun tiedon lisäksi.

4.3 Palvelut

Laitteeseen tarvitaan useita palveluita, jotta siitä voidaan tehdä varsinainen tuote. Ensimmäisenä palveluna tarvitaan koko projektille pohja, selainpohjainen ohjelma. Selainpohjaista ohjelmaa varten tarvitaan palvelin, jolla ohjelma pyörii. Tähän haluttiin mielellään nopeasti käyttöönotettava, ilmainen palvelu, johon olisi helppo lisätä tarvittavaa koodia ja hyvät ohjeet ohjelman tekemiseen. Tarjolla on lähinnä maksullisia palveluita, sillä palvelimet tarvitsevat tietokoneen pyöriäkseen ja niiden hankkiminen ja ylläpito on melko kallista. On myös tarjolla ilmaisia palvelimia, mutta niiden ilmaisuus loppuu tietyn ajan kuluttua eikä niitä voi enää käyttää sen ajan jälkeen, ellei ole valmis maksamaan palvelusta. Lisäksi on palveluita, jossa palvelin on ilmainen, mutta sen suorituskyky on huono ja sen nostaminen sekä muut palvelut maksavat. Selainpohjaisen ohjelman suurimpana ongelmana on tietoturva. Mikäli selainpohjaisella ohjelmalla on hallinta verkkovirtaa ohjaavasta laitteesta, voidaan sillä saada aikaiseksi melko suurtakin tuhoa, kuten aikaisemmin mainittiin. Asiakkaalle parhaassa tapauksessa ohjelma pyörii yrityksen omilla palvelimilla tiukkojen turvatoimien takana. Projektin haluttiin etenevän nopeasti, joten testausvaiheessa tietoturvaa ei nähty ajankohtaiseksi.

Laitteen haluttiin myös hyödyntävän lämpötilatietoa, joten tarvittiin lämpötilatietopalvelu. Internet on täynnä palveluita, joista voi käydä katsomassa jonkin paikkakunnan lämpötilan, esimerkiksi Foreca tai Ilmatieteen Laitos tuottavat tällaista palvelua, mutta laitteelle ne eivät riitä. Niiden palvelut ovat kohdistettu ihmissilmälle, eikä sitä ole tarkoitettu tietokoneiden luettavaksi. Tähän tarvitaan tasaisin väliajoin päivittyvä linkki tai luku, jonka laite voi lukea automaattisesti, eikä monilla palveluilla ole sellaista tarjota joko yrityksälaisuussyistä tai muista syistä. Joiltain nettisivuilta on mahdollista lukea haluttuja lukuja, mutta tiimin osaaminen ei riittänyt sellaiseen eikä projektin tarkoituksena ollut sellaista tehdä.

Ajastusta varten tarvittiin laitteeseen reaaliaikainen tieto ajasta. Reaaliaikaisen aikatiedon voi hakea NTP-palvelimilta (Network Time Protocol), joita ylläpidetään ympäri maailmaa ja niiden aikatiedot tarkistetaan toisistaan tietyin väliajoin. [45.]

Laitteeseen toivottiin myös sähkön tuntihintatietoa. Tämän tiedon tarjoaa Nord Pool, joka on Pohjoismaiden sähköverkkoyhtiöiden omistama sähkömarkkina. Heiltä on mahdollista ostaa sähkön hintatietoja, jotka he toimittavat tilauksen mukaan. [46.]

Tätä tietoa haluttiin käytettävän tuotteessa kertomaan käyttäjälle, minkä hintaluokan sähköä hän on käyttämässä ilman, että hänen tarvitsisi tarkistaa sitä itse. Lisäksi sillä voitaisiin aikatauluttaa joitain vähemmällä tärkeydellä olevaa sähkönkulutusta, esimerkiksi akkujen latausta tai esimerkiksi lämmitellä taloa enemmän halvemman sähkön aikaan ja vähemmän kalliimman sähkön aikaan.

4.4 Mikrokontrollerin ohjelmointi

Mikrokontrollerin ohjelmointiin tarvitaan ohjelmointiympäristö. Joillakin piirilevyvalmistajilla on oma ympäristö, jota on tarkoitus käyttää kyseisen valmistajan mikrokontrollereihin, kun taas toiset valmistajat antavat kehittäjille täysin vapaat kädet ympäristön suhteen. ESP32 on koodattu Pythonilla, joten kaikki siihen tarkoitetut ohjelmointiympäristöt kääntävät koodin Pythoniksi, mikäli ohjelmoijan käyttämä koodauskieli ei ole Python.

Kun piirilevyksi valittiin ESP32, oli ohjelmointiin mahdollista käyttää joko ESP-IDF-ympäristöä tai Arduino IDE-ympäristöä, sillä muihin ympäristöihin ei projektin alkaessa löytynyt kunnon ohjeistusta. ESP-IDF oli projektin alussa huomattavasti paremmin dokumentoitu, mutta se vaatii ohjelmoinniltaan edistyneempää ohjelmointitaitoa ja sitä oli hankala käyttää. ESP-IDF:n kielenä on C/C++. ESP-IDF on vapaata lähdekoodia, joten kuka vain voi muokata sitä haluamakseen tai voi ehdottaa tekijöille uusia ominaisuuksia tai korjauksia. Espressif on erikoistunut langattomiin ratkaisuihin, ja sen takia ESP-IDF tehty erityisesti IoT-laitteita varten. [47.]

Arduino IDE käyttää kielenään C/C++, mutta se on yksinkertaisempaa koodia ja siihen on tehty lukuisia ohjeita, oppaita ja videoita kuinka se toimii ja kuinka sitä käytetään. Arduino IDE on myös vapaata lähdekoodia, joten kuka vain voi käyttää sitäkin ja muokata omiin tarkoituksiinsa. Arduino IDE on luotu elektroniikkaharrastelijoille, jotka haluavat nikkaroida omia laitteitaan Arduinon valmistamien piirilevyjen avulla. Arduino on saavuttanut suuren suosion ja yritys kehitti yksinkertaisia piirilevyjä erityisesti elektroniikasta kiinnostuneille opiskelijoille, joilla ei ole elektroniikkataustaa, mutta suosion saavutettuaan he ovat alkaneet tekemään yhä monimutkaisempia piirilevyjä. [48.]

5 Ratkaisut laitteiden liittämiseksi esineiden internetiin

5.1 Verkot

Verkkoratkaisuita mietittiin työn aikana jatkuvasti, mutta ohjelmointi tuli aloittaa jostakin, että päästiin alkuun. Tästä syystä projektin aloitettiin WLAN-verkkoon ja paremman ratkaisun tullessa esiin otettaisiin se käyttöön. WLAN-verkko oli helposti saatavilla työpäikällä ilman uusia laitteita ja ohjelmaa päästiin työstämään eteenpäin.

Projektin edetessä tutkittiin ja testattiin WLAN-, Bluetooth- ja LoRa-verkot. SigFox-verkoteknikka todettiin liian hankalaksi järjestää näin lyhyellä aikataululla, koska se nähtiin liian suljetuksi tutkimukseen.

Bluetooth-verkon kantavuus osottautui liian heikoksi tuotteen tarkoitukseen nähden. Tuotetta on tarkoitus käyttää ulkona, joten sen kantavuus ei riitä kaikkiin tilanteisiin. Lisäksi Bluetooth vaatisi erillisen reitittimen, joka yhdistäisi sen internetiin. Projektissa käytettiin puhelinta Bluetoothin reitittimenä, eikä sen kantavuus ollut kuin muutama metri avoimessa tilassa ja mikä tahansa este lyhensi kantamaa huomattavasti.

LoRa-verkko osoittautui tuotteen kannalta soveltuvimmaksi verkoksi. Sillä on erittäin hyvä kantavuus, eikä tiedonsiirtonopeus ole ongelma, sillä lähetetyn ja vastaanotetun tiedon määrä ei ole kovin suuri. Ongelmaksi muodostui kuitenkin reititin. Kuten kaikki langattomat verkot, LoRa-verkko tulee luoda ympäristöön jollakin laitteella. Projektin tarkoituksena oli suunnitella laite, jonka hintataso pysyisi melko alhaisena ja sitä voisi käyttää sellaisenaan. LoRa-verkko olisi kuitenkin vaatinut erillisen reitittimen toimiakseen. Reititin olisi nostanut tuotteen hintaa kuluttajalle merkittävästi, joten sen käyttämisestä projektissa luovuttiin.

WLAN oli siis ainoa ratkaisu tuotteen verkoksi. WLAN-reititin löytyy lähes jokaisesta kotitaloudesta ja siihen on erittäin helppo yhdistää. Saadakseen yhteyden WLAN-verkkoon ESP32 tarvitsee pelkästään Arduino-koodiin komennon

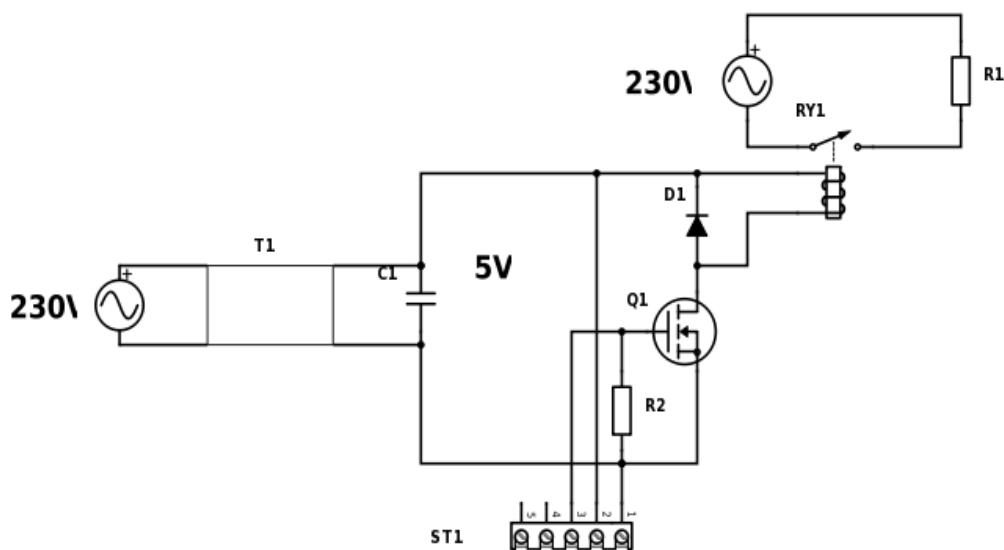
```
WiFi.begin(ssid, password);
```

jossa "ssid" on WLAN-verkon nimi ja "password" sen salasana. Yhteyden muodostettuun on ESP32:lla mahdollisuus yhdistää mihin vain verkkosivustoon tai -palveluun, mikäli reititin on kiinni internetissä.

5.2 Elektroniikkasuunnittelu

Elektroniikassa päädyttiin käyttämään ESP32 DEVKIT-C-piirilevyä. Piirilevyllä oli projektissa tarkoitus tehdä kehitystyötä, kunnes mikropiiriä voitaisiin käyttää sellaisenaan, ilman piirilevyä. Tähän ei kuitenkaan ehditty projektin kiireellisen aikataulun vuoksi. Piirilevy on sellaisenaan kuitenkin melko pieni, joten siitä ei aiheutunut suuria ongelmia.

Muiden komponenttien kytkemiseksi ESP32-piirilevyyn vaadittiin piirilevyä, johon ne ja ESP32 juotettaisiin kiinni. Halutut komponentit olivat hakkuriteholähde, rele, lämpötilasensori, painikkeet, sekä ulos- ja sisääntuloja varten välikappaleet. Näille komponenteille tarvittiin vielä muutamia lisäkomponentteja, jotta ne saatiin toimimaan halutulla tavalla. Tilanpuutteen vuoksi piirilevyjä tehtiin kaksi, ensimmäisellä piirilevyllä oli lämpötilasensori, painikkeet ja ESP32. Toisella piirilevyllä oli hakkuriteholähde ja rele.



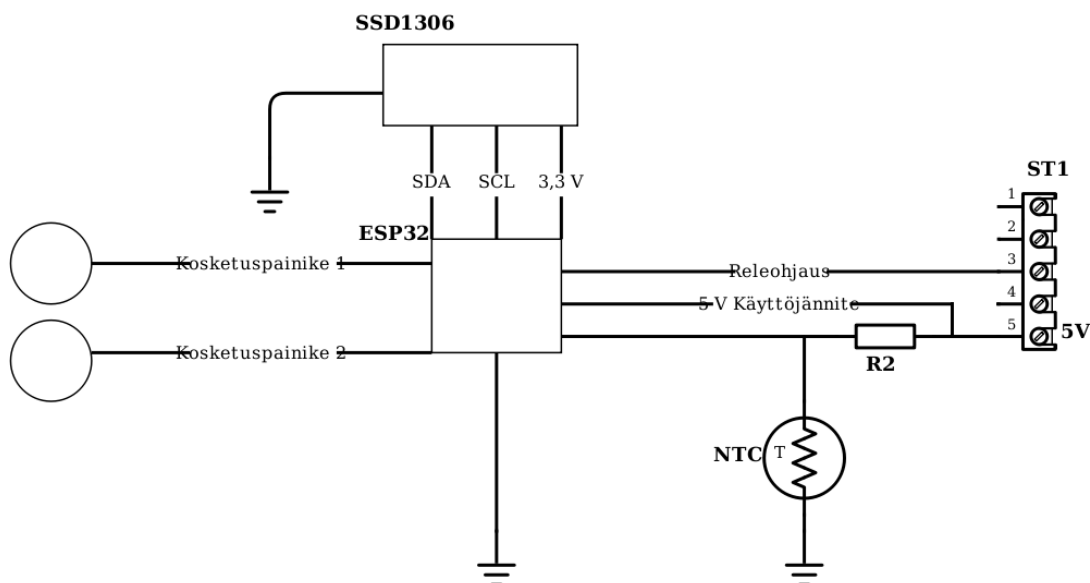
Kuva 3. Kaavio piirilevystä, jossa on rele ja hakkuriteholähde

ESP32 DEVKIT-C tarvitsee toimiakseen 5 V:n sisääntulon. Tämä toteutettiin hakkuriteholähteellä. Hakkuri muuntaa verkkovirrasta sopivan jännitteen, jota ESP32 käyttää. ESP32 mikropiiri käyttää 3,3 V:n jännitettä, mutta DEVKIT-C on lisätty USB-sisääntulo,

johon voi lisätä minkä tahansa 5 V sisääntulon, jonka DEVKIT-C-piirilevy sitten muuntaa 3,3 V jännitteeksi. Teholähteeksi valittiin RECOM Power RAC01-05SC (kuva 3, T1), jolla saatiin tarvittava jännite sekä virta, että ESP32 saatiin toimimaan ilman USB-sisääntuloa. Hakkurista tulevan mahdollisesti 5 V:n epätasaisen jännitteen tasaamiseksi lisättiin piirilevyllä 100 μF :n kondensaattori (kuva 3, C1). Hakkurin ja releen toisella puolella on verkkovirtaa, joten se tuli ottaa huomioon piirilevyä suunnitellessa ja testatessa.

Verkkovirtaa käytettäessä piirilevyllä tarvitaan verkkovirtaa sisältävien vetojen välille vähintään 3 millimetriä ja ohjausvirtaa, tässä tapauksessa 5 V, varten vähintään 6 millimetriä, jotta suuri jännite ei karkaa vedoistaan ja polta komponentteja, jotka toimivat pienemmällä jännitteellä tai vie jännitettä sinne, minne sen ei kuuluisi mennä. Lisäksi vedot tulee pitää mahdollisimman lyhyinä, jotta virtahäviöt, kuumeneminen ja turvallisuusriskit saadaan minimoitua. Vedot tulee myös tehdä mahdollisimman leveiksi, jotta kulkeva virta ei polta piirilevyä kulkiessaan liian ohutta vetoa pitkin mahdollisen virtapiikin aikana.

Releeksi piirilevyllä valittiin OMRON G2RL-1A-E (kuva 3, RY1). Relettä varten tarvittiin verkkovirran huomioimisen lisäksi ohjausvirta ja käyttöjännite. Releen haluttiin toimivan 5 V, jotta käyttöjännite saataisiin suoraan vedettyä hakkurin ulostulosta. Releen ohjausta varten piirilevyyn laitettiin MOSFET-transistori (kuva 3, Q1), jota ohjataan ESP32:sta tulevalla logiikkasignaalilla. Logiikkasignaalin ja maatasen välille tarvittiin 100k Ω alasvetovastus (kuva 2, R2), jotta signaali pysyy tasaisena eikä vaihtelee. Tämän lisäksi maatasen ja käyttöjännitteen välille laitettiin diodi vähentämään releen päällekytketymisestä aiheutuvia mahdollisia virtapiikkejä (kuva 3, D1).

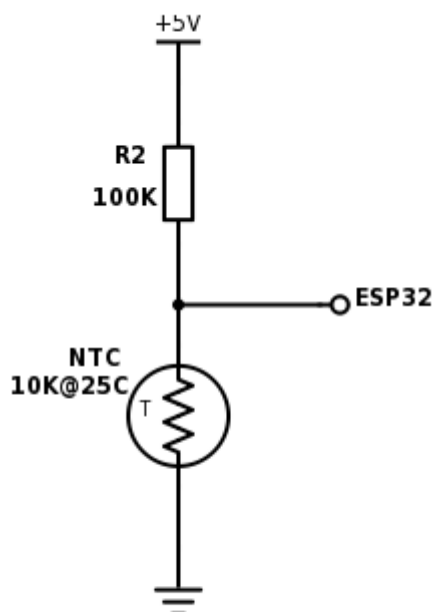


Kuva 4. Piirilevy, jossa on näyttö, ESP32, NTC-vastus ja kaksi kosketuspainiketta.

Toiselle piirilevyllä juotettiin ESP32 DEVKIT-C (kuva 4, keskellä). ESP32:n lisäksi piirilevyllä on kaksi kosketuspainiketta, SSD1306 näyttö, kaksi vastusta ja sisään- sekä ulostuloille välikappale ST1 (kuva 4).

ESP32 tarvitsee 5 V:n sisääntulon käyttöjännitteeksi, joka saadaan kuvan 3 piirilevyn hakkurin ulostulosta. 5 V:n sisääntulolla saadaan myös jännite NTC-vastukselle, jolla saadaan lämpötilatietoa. 5 V:n jännitteen lisäksi mikropiiristä lähtee 3,3 V:n jännitteinen käyttöjännite näytölle.

Lämpötilasensoriksi valittiin NTC-vastus (Negative Temperature Coefficient). NTC-vastus vaihtaa vastusarvoaan lämpötilan mukaan käänteisesti. Mitä suurempi lämpötila, sen pienempi vastus NTC-vastuksella on. [49.] Tähän projektiin valittiin NTC-vastukseksi Muratan NCP21XV103J03RA, jolla on vastusarvo 10 k Ω , kun se on huoneenlämpötilassa 25 °C [50, s. 15]. Sen avulla saadaan lämpötilatietoa, kun piirilevyllä lisätään sarjaan 100 k Ω vastus ja jännitteenjaon avulla saadaan osa jännitteestä kulkemaan ESP32-sisääntuloon, jossa se voidaan muuttaa koodin avulla lämpötilaksi.



Kuva 5. Jännitteenjako NTC-vastukselle.

Kuten kuvasta 5 nähdään, mitä suurempi jännite on NTC-vastuksen yli, sitä suurempi arvo nähdään ESP32-sisääntulossa. Kun lämpötila nousee, vastuksen arvo laskee, vastuksen yli menevä jännite laskee ja mikropiirin lukema jännite laskee. Vastusarvot saatiin vastuksen datakirjasta [50, s.15] ja testaus suoritettiin eri vastusarvoilla. Mikropiiri kykenee lukemaan välillä 0 - 3,3 V arvot 0 - 4095, joka näillä komponenteilla riittää noin -32 °C:sta noin +35 °C:seen, mikä sopii hyvin Suomen ulkolämpötiloihin. Pintaliitos komponentin lisäksi haluttiin myös mahdollisuus käyttää langallista versiota kyseisestä vastuksesta, joten piirilevyyn lisättiin lisäkappale, johon voi kiinnittää langallisen NTC-vastuksen kiinni, jos lämpötilaa halutaan mitata kotelon ulkopuolelta.

Adafruitin SSD1306 näyttö vaatii toimiakseen 3,3 V:a, joka saadaan yhdestä DEVKIT-C ulostulosta. Näytön eri versioista valittiin SPI-liitännällä toimiva näyttö, joka vaatii käyttöjännitteen ja maadoituksen lisäksi vain kaksi muuta ulos- ja sisääntuloa, SDA sekä SCL. SCL kertoo synkroinoidusti kaikille piirilevyllä oleville SPI-liitännällä oleville mikroprosessorille tarkasti saman kellon ja SDA on tiedonsiirtoa varten. Näyttö sijoitettiin piirilevyn eri puolelle ESP32 kanssa, sillä ne eivät olisi mahtuneet samalle puolelle ja näin voitiin tehdä piirilevylle selvä jako: käyttäjän näkemät ja tarvitsemat komponentit toiselle puolelle ja mikropiiri sekä muut komponentit toiselle.

Kosketuspainikkeille löytyy ESP32-mikropiiristä niille varta vasten varatut sisääntulot, joten ne olivat yksinkertaiset toteuttaa. Kosketuspainikkeet toteutettiin tekemällä piirilevylle yhdeksän millimetrin halkaisijaltaan olevat kupariympyrät ja ne sijoitettiin tarpeeksi kauas muista komponenteista. Tarkoituksena oli laittaa piirilevyn päälle muovikuori, jossa olisi ohennetut kohdat kosketuspainikkeiden kohdalla, mutta painikkeet eivät olleet tarpeeksi herkkiä, jotta kosketus olisi saatu tunnistettua riittävällä tarkkuudella, joten painikkeiden kohdalta jouduttiin leikkaamaan muovi pois.

Näytöllisen piirilevyn lisäksi haluttiin toinen piirilevy, joka mahtuu pienempään tilaan ja jossa on vähemmän ominaisuuksia ja näin ollen yksinkertaisempi käyttää. Tähän piirilevyyn todettiin parhaaksi releen tilan näyttäjäksi RGB-led-valo, jolla pystytään näyttämään useita eri värejä ohjelmoimalla sitä. Suunniteltuun piirilevyn koteloon ei ollut myöskään mahdollista toteuttaa kosketuspainikkeita, joten tavallinen mekaaninen painike vaihdettiin tilalle. Toinen painikkeista jätettiin pois, sillä valikoita ei ollut mahdollista toteuttaa järkevästi ilman näyttöä.

5.3 Palvelut

Selainpohjaisen ohjelman palvelimeksi valittiin www.000webhost.com. Sivusto tarjoaa ilmaisen palvelimen, joka oli helppo ottaa käyttöön ja ohjelmoida. Vaikka sivustolla on rajoitetut toiminnot, se oli tähän projektiin tarpeeksi hyvä. Ohjelma saatiin melko nopeasti testausvalmiuteen ja projektin aikana palvelin kaatui vain kerran noin tunnin ajaksi. Tiimin internetsivujen koodaustaidon ja aikataulun vuoksi ohjelmaan ei ehditty koodata kirjautumista, joka olisi mahdollistanut kenen tahansa, jolla on ohjelman internet-osoite, täyden hallinnan kaikkeen, mitä laite tekee. Tämä ei varsinaisesti ole testivaiheessa ongelma, mikäli laite ei ole kiinni verkkovirrassa ilman valvontaa eikä siihen kiinnitetä mitään potentiaalisesti vaarallista laitetta ilman jatkuvaa valvontaa.

Lämpötilatietopalveluista oli vaikea löytää palvelua, josta tiedon saisi suoraan luettua piirilevylle niin, että luku päivittyisi tasaisin väliajoin. Suurin osa sääpalveluista on tarkoitettu pelkästään ihmisilmälle. Lämpötilatietopalveluksi valittiin www.hotel-mix.de:n sääpalvelu, sillä se tarjoaa ilmaiseksi päivittyvää linkkiä säätiedoista eri paikkakunnille. Linkit ovat tarkoitettu käyttäjien omille nettisivuille, jotta käyttäjät voisivat esittää säätiedot omilla sivuillaan, mutta näin avoimesta koodista oli helppo eristää pelkkä lämpötilatieto

projektia varten. Koko projektin aikana sivusto ei ollut kertaakaan kaatunut ja lämpötila vastaa tarpeeksi hyvin Ilmatieteen Laitoksen ja Forecan lämpötilatietoja. Mikäli tuotetta alettaisiin myydä, tulisi lämpötilatiedolle etsiä parempi tarjoaja, mutta testaukseen tämä sopi mainiosti.

Sähköhintatiedon saamiseen tarvitaan sopimus Nord Poolin kanssa. ABB:llä on sopimus Nord Poolin kanssa, joka oikeuttaa kerran päivässä saataviin hintatietoihin, joista näkyy sähkön tuntihinta tunneittain. Tämä tieto oli juuri sitä mitä laitteeseen haluttiinkin, mutta tiedon käyttö ei ollut niin yksinkertaista, kun luultiin. Tiedot päivitetään kerran päivässä kahdessa tiedostomuodossa Nord Poolin FTP-palvelimelle, josta asiakas voi ladata tiedot ja käyttää tietoja hyväkseen. Ongelmaksi muodostui yhteydenotto palvelimelle. Käytettäessä tietokoneella selainta, tiedostot saadaan helposti ladattua tietokoneelle ja tiedot käytettäväksi, mutta kun laite yrittää ottaa yhteyttä palvelimeen, sen pääsy estetään palomuurilla. Toinen vaihtoehto oli yrittää ladata tiedostot selainpohjaisen ohjelman palvelimelle, mutta sen tallennustila ei riittänyt yhdenkään tiedoston lataamiseen. Näin ollen sähkön hintatietoja ei voitu käyttää tuotteessa ilman, että joku henkilö olisi manuaalisesti käynyt lisäämässä tiedot päivittäin ohjelmaan, joten siitä jouduttiin luopumaan.

5.4 Ohjelmointi

Ohjelmointiin kuuluivat seuraavat osa-alueet: yhteys WLAN-verkkoon, yhteys internet-palveluihin, selainpohjaisen ohjelman ohjelmointi, painikkeet, lämpötilatiedot, ajastukset, näyttö ja ledit.

Mikrokontrolleri ohjelmoitiin Arduino IDE-ohjelmointiympäristössä. Espressifin piirilevyn yhdistäminen WLAN-verkkoon on tehty hyvin yksinkertaiseksi ja tässä onnistuttiin hyvin nopeasti. Piirilevy saa yhteyden yleensä heti, mutta joskus se täytyy käynnistää uudelleen, jotta yhteys saavutetaan. Tämän takia koodiin lisättiin pätkä, jolla piirilevy käynnistää itsensä uudelleen, mikäli yhteyttä ei saavuteta.

```
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(1000);
    Serial.print(".");
    reboot++;
    if (reboot == 5) {
        Serial.println();
        reboot = 0;
        ESP.restart();
    }
}
```

```
}
}
```

Ylläoleva koodi tarkistaa mikrokontrollerilta, onko yhteys saavutettu, mikäli ei ole, se odottaa sekuntin, kirjoittaa sarjaväylään pisteen, lisää laskuriin yhden kokonaisluvun ja käynnistää itsensä uudelleen sekä nolaa laskurin, mikäli laskuri saavuttaa arvon viisi. Koodissa ei päästä eteenpäin ennen kuin mikrokontrolleri saavuttaa WLAN-yhteyden. Mikrokontrolleri ei kuitenkaan saavuta mitään pelkällä WLAN-yhteydellä, vaan koodiin tarvittiin yhteys internetiin ja sitä kautta internetpalveluihin.

Internetpalveluista aloitettiin lämpötilatiedolla. Lämpötilatieto haluttiin saada internetistä, ja se toteutettiin hotel-mix.de-sivuston lämpötilatietopalvelulla. Siitä saatu tieto oli kuitenkin hankalasti saatavissa mikrokontrollerin koodilla, joten käyttöön otettiin thingspeak.com IoT-ratkaisu, jossa ThingSpeak on ohjelmoitu katsomaan lämpötilapalvelusta pelkän lämpötilatiedon, päivittämään sitä tasaisin väliajoin ja välittämään sen palvelun kautta mikrokontrollerille ilman, että mikrokontrollerin tarvitsee tehdä sitä itse. Näin mikrokontrollerille saatiin yksinkertainen lämpötilatieto lukuna ilman, että tarvitsi lisätä monimutkaisempaa koodia siihen ja säästetään hieman aikaa sekä virtaa mikrokontrollerilla.

Tämän jälkeen aloitettiin selainpohjaisen ohjelman rakentaminen. Se rakennettiin alusta asti käyttäen HTML-kieltä. Sen tarkoituksena on ohjata piirilevyä etänä mistä päin maapalloa tahansa internetin välityksellä ja saada siitä tilannetietoa. Projektin alussa sitä alettiin tehdä liian laajaksi ja projektin edetessä päätettiin keskittyä muutamaan ominaisuuteen. Selainpohjaisen ohjelman pohjana käytetään 000webhost.com:n tarjoamaa ilmaista ja helppokäyttöistä sivustopalvelua, josta voi kuka vain ottaa itselleen sivuston, jota sivusto ylläpitää maksutta. Sivusto lupaa sivuilleen 99 %:n toimintavarmuuden ja jotkut yltyvät jopa 99,9 %:n toimintavarmuuteen. Ohjelmaan tarvittiin erilaisia ohjauspainikkeita, joilla saataisiin ohjattua piirilevyn eri ominaisuuksia. Ensimmäiseksi ohjelmoitiin päälle/pois, painike, jolla saatiin piirilevyn releohjaus suoritettua etänä. Tämän jälkeen siihen lisättiin ajastustoiminnot, joilla voitaisiin ohjata releen toimintaa ajastettuna. Ajastuksia tuli olla kahdenlaisia. Ensimmäisen tuli automaattisesti tietää releen päälläoloaika lämpötilan mukaan ja käyttäjän tarvitsee vain ilmoittaa aika, jolloin releen tulee mennä pois päältä. Toisessa käyttäjä saa itse määrittää, kuinka pitkään rele on päällä ja milloin se menee pois päältä.

Selainpohjaista ohjelmaa rakennettiin saman aikaisesti mikrokontrollerin ohjelman kanssa. Mikrokontrolleri ottaa yhteyden ohjelmaan saatuaan WLAN-yhteyden muodostettua ja lukee viimeisimmän annetun tiedon ohjelman osoitteesta. Tämä ei ole optimaalisin tapa ohjata piirilevyä, mutta se oli yksinkertainen toteuttaa ja se saatiin nopeasti toimivaksi ratkaisuksi ja toimi prototyypivaiheessa erinomaisesti.

Ajastuksia varten mikrokontrollerin tuli saada reaaliaikainen tieto ajasta. Tämä onnistuu yhdistämällä NTP-palvelimeen ja ottamalla aikatiedon sieltä. Lähes kaikki laitteet saavat aikatietonsa näiltä palvelimilta, joten tähän aikatietoon voidaan luottaa. Aikatiedon avulla voidaan piirilevylle asettaa ajastuksia. Ensin tarvitaan tieto siitä, kuinka kauan on seuraavaan releen päälle laittoon. Tämän jälkeen tarvitaan aika, jonka jälkeen releen tulee mennä pois päältä. Lisäksi koodissa tuli ottaa huomioon seuraavalle päivälle menevät ajastukset. Releen päälle meno ajastetaan koodissa ottamalla aika, jolloin tieto saadaan, ylös ja vähentämällä tämä aika ajasta, jolloin releen on tarkoitus mennä päälle. Releen päältä pois laitto tapahtuu vertaamalla nykyistä aikaa annettuun lopetusaikaan. Näiden lisäksi ajastukseen haluttiin automaattinen lämpötilaan mukautuva releohjaus, joka toimii muuten samoin, mutta se tarkistaa tietyin väliajoin, mikä lämpötila on ja tuleeko releen olla päällä vai ei.

Etäohjauksen lisäksi piirilevyä haluttiin ohjata myös painikkeilla. Piirilevyjä tehtiin kahdenlaisia, ensimmäisessä on kaksi kosketuspainiketta, joilla saatiin näytön avulla luotua valikoita, ja toisessa on vain yksi mekaaninen painike, jolla voidaan ohjata releen toimintaa. Ideaalitilanteessa painikkeita käytetään koodin keskeytyksillä, joilla prosessori lopettaa kaiken toimintansa, suorittaa keskeytyksen ja tämän jälkeen jatkaa toimintaansa normaalisti. Tuntemattomasta syystä mikropiiri kuitenkin kaatuu, mikäli keskeytyksillä yritetään suoraan ohjata releen toimintaa. Syynä voi olla joko mikropiirin ohjelma, Arduinon yhteensopivuusongelmat ESP32 kanssa tai huono osaaminen ohjelmoinnissa. Tähän kuitenkin keksittiin ratkaisu. Keskeytys suorittaa funktion, joka vaihtaa painikkeen painamismuuttujan todeksi ja koodiin lisätään kohta, jossa tämä muuttuja tarkistetaan ja mikäli se on tosi, suoritetaan napin painamiseen liittyvä toiminto. Tällöin mikropiiri ei kaadu ja toimintaa voidaan jatkaa. Tämä kuitenkin johtaa siihen, että toimintavaste on huonompi, eli nappia painettaessa ei laite reagoi heti siihen, vaan suorittaa siihen kuuluvan toiminnon vasta sitten, kun se on painikkeen muuttujan tarkistuskohdassa koodia. Yleensä tämä viive on noin kaksi sekuntia, mikä ei haitannut tuotteen testausta, mutta myytävässä tuotteessa tämä saattaisi olla liikaa.

Valikkoja varten toiseen piirilevyistä lisättiin Adafruit SSD1306-näyttö, jonka resoluutio on 128 x 32 pikseliä ja sen kuva on mustavalkoinen. Tähän näyttöön löytyy Adafruitin sivuilta erinomainen kirjasto, jonka avulla oli helppo lisätä koodiin näytön koodi ja näytölle haluttua tekstiä ja kuvaa. Ainoana ongelmana oli tekstin fonttikoot. Perusfonttikoko oli sopiva lyhyisiin teksteihin, kuten ON tai OFF, mutta pidemmille teksteille se oli liian suuri ja seuraavaksi pienempää fonttikokoa eivät heikkonäköisemmät pystyneet lukemaan. Valikot rakennettiin suurella määrällä if-lauseita, joista jotkut avaavat uuden valikon. Vasemmalla painikkeella avataan ja selataan valikon vaihtoehtoja ja oikealla painikkeella valitaan valikon vaihtoehto. Valikkojen lisäksi näytön avulla voidaan näyttää käyttäjälle tietoa lämpötilasta ja piirilevyn toiminnasta.

Toiseen piirilevyyn, jossa oli vain yksi mekaaninen painike, haluttiin mahdollisimman yksinkertainen tapa käyttää, joten siihen ei myöskään kuulunut näyttöä. Siihen kuitenkin oli tarve saada jonkinlainen tapa kertoa käyttäjälle piirilevyn toiminnasta, joten siihen lisättiin RGB led, jolla voitiin eri värein kertoa käyttäjälle mitä piirilevy on tekemässä.

6 Yhteenveto

Tämän insinööritoimen tarkoitus oli selvittää nykyisen verkon infrastruktuurin valmiutta esineiden internetiä varten. Selvitys tehtiin tuomalla arkipäiväiseen tuotteeseen langaton internetyhteys, jolla tuotetta voitiin ohjata ja seurata. Projekti tehtiin vuoden 2017 kesällä ABB:n Porvoon toimipisteellä. Projektissa selvitettiin, kuinka helposti esineiden internet on tuotavissa nykyisiin laitteisiin, kuinka hyvin internet-yhteys toimii, millä verkkotekniikalla langaton verkko on suotuisinta toteuttaa, kuinka hyvin internetpalvelut toimivat ja onko niistä saatava tieto tarpeeksi luotettavaa.

Internetiin yhdistäminen on nykyisin erittäin yksinkertaista. Verkkokaupoissa on saatavilla tuhansia edullisia piirilevyjä, jotka saadaan suhteellisen helposti ohjelmoimalla yhdistämään WLAN-verkon kautta langattomasti internetiin. Tarvitaan vain piirilevy, joka sisältää WLAN-verkkotekniikkaa, WLAN-verkko ja hieman ohjelmointia. Ohjelmointiin löytyy runsaasti ohjeita, kirjoja ja videoita, pelkästä led-valon vilkutuksesta monimutkaisiin projekteihin, joita alan harrastajat ovat vapaa-ajallaan tehneet. Tämä mahdollistaa pientenkin laitteiden yhdistämisen internetiin langattomasti, eli esineiden internetin.

Laitteen internet-yhteys saavutettiin muodostamalla WLAN-verkko 3G-mobiilitukiase-malla. Yhteys toimi moitteettomasti, mutta tukiaseman ollessa kokoajan latauksessa, se kuumeni välillä liikaa, jolloin sen turvatoimet kytkeytyivät päälle, eikä internetiin voinut yhdistää hetkeen. Vuonna 2016 noin 47 % maailman väestöstä käytti internetiä ja luku on ollut nousussa kokoajan [51, s. 4], joten voidaan olettaa, että esineiden internetin kysyntä tulee kasvamaan perinteisten tekniikan edelläkävijöiden ja rikkaiden valtioiden lisäksi myös kehittyvissä ja köyhemmissä maissa.

Verkkotekniikkaa miettiessä esineiden internetiä varten, tulee selvittää, tarvitaanko laitteelle ennemmin suurta tiedonsiirtonopeutta vai pitkää kantamaa. Suuri tiedonsiirtonopeus saavutetaan suurilla taajuuksilla, joita esimerkiksi WLAN ja Bluetooth hyödyntävät 2,4 GHz:n ja sitä suuremmilla taajuuksillaan. Niillä on erittäin suuret tiedonsiirtonopeudet, joten niillä voidaan esimerkiksi suoratoistaa ääntä ja videota häiriöttä. Niiden kantama on kuitenkin melko lyhyt, joskin niiden kantavuutta voidaan parantaa lisäämällä parempia antennoja tai toistimia, jotka välittävät verkkoa ja siinä kulkevaa tietoa eteenpäin kaukaisimmille laitteille. Pitkä kantama saavutetaan matalemmalla taajuudella, jota esimerkiksi LoRa- ja SigFox-verkkotekniikat hyödyntävät. Ne toimivat 2,4 GHz:a vapaammalla taajuudella 868 MHz, jossa toimintajakso on rajatumpi, mutta lähetysteho voidaan pitää suurempana [52, s. 11]. Pienemmän taajuuden etuna lähetystehon lisäksi on sen läpäisykyky ja kantavuus. Pienemmät taajuudet läpäisevät paremmin esteitä, joten niitä on suotuisampaa käyttää esimerkiksi rakennetulla alueella. Pienempitaajuiset signaalit menettävät vähemmän energiaa kulkiessaan ilman läpi kuin suuritaajuiset signaalit, joten niiden kantavuus on parempi kuin suuritaajuisilla signaaleilla.

Sisäisten verkkojen lisäksi on myös mahdollista yhdistää laitteensa alueelliseen verkkoon, kuten matkapuhelinverkkoon. Tällä hetkellä matkapuhelinverkkoon yhdistäminen on melko kallista, jos yritykseltä ei löydy valmiiksi 3/4G-verkkotekniikkaa hyödyntäviä piirilevyjä. Verkkotekniikan lisäksi verkkoon yhdistämiseen tarvitaan liittymä, jolla tunnistaudutaan verkossa ja jonka käytön mukaan operaattori laskuttaa. SigFox- ja LoRa-verkkojen peittoaluekartoista nähdään, että ne keskittyvät kaupunkeihin ja suurimpiin kyliin, joten niiden kuuluvuuteen ei voida luottaa kaikissa tapauksissa [53 ; 54]. Matkapuhelinverkotkaan eivät kata täysin koko Suomea, mutta sen tilanne on parempi kuin rakenteilla olevien LoRa- ja SigFox-verkkojen tilanne. Tulevaisuudessa kaikki saattaa kuitenkin mennä täysin uusiksi. Tulossa olevalle 5G-verkolle luvataan parempaa tiedonsiirtokykyä, parempaa yhdistettävyyttä, vähemmän tarvittavaa elektroniikkaa yhdistämiseen ja help-

poa laitteiden keskinäistä keskustelua [6]. Kyseessä on kuitenkin lähinnä matkapuhelimia varten operaattoreiden ylläpitämä verkko, joten siihen tarvitaan jonkinlainen maksutapa. Nykyisin se hoituu liittymien avulla, mutta siihen tarvitaan uusi ja parempi järjestelmä, jolla käyttäjien on helpompaa liittää pieniä arkisia laitteita tähän verkkoon.

Internetissä olevat palvelut toimivat hyvin, niitä on saatavilla runsaasti ja jopa ilmaiset palvelut ovat melko luotettavia ja niitä ylläpidetään hyvin. Koko projektin aikana vain webhost-palvelimet kaatuivat kerran, eikä niidenkään takaisin ylös saamisen mennyt kovin kauaa. Testatuista palveluista monet eivät tarjonneet linkkiä, josta haluttu tieto saataisiin suoraan, vaan ne jouduttiin erikseen etsimään ja muuntamaan piirilevyn koodiin sopivaksi tai käyttämään toista palvelua, jolla tieto saatiin esille. Tämä todennäköisesti johtui palveluiden ilmaisuudesta, mutta maksullisia, tismalleen tämän tyyppistä tietoa tarjoavia palveluita ei vielä ole montaa. Nykyiset palvelut ovat suunnattu enemmän ihmisilmälle, kuin koodia lukevalle laitteelle. Tulevaisuudessa tulee olemaan tarve laitteita varten tehdyille palveluille, erityisesti mikäli 5G onnistuu tuomaan IoT:n arkipäiväiseen elämään sille luvattulla tavalla. Nämä palvelut tarjoavat tietoa, laskentatehoa, tallennustilaa, algoritmeja tai mitä tahansa, mitä käyttäjä tarvitsee, että hänen IoT-laitteensa tekee sitä, mitä hän haluaa sen tekevän.

Lähteet

- 1 Laajakaistasta tuli perusoikeus. 3.7.2010. Verkkoaineisto. Yle Uutiset. <http://yle.fi/uutiset/3-6160329> Luettu 30.5.2017
- 2 Suomalaiset juuret: Strömbergin jalanjäljillä vuodesta 1889. Verkkoaineisto. ABB Oy. <http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/historia/suomalaiset-juuret> Luettu 30.5.2017
- 3 Ensto Busch-Jaeger Oy kokonaan ABB Oy:n omistukseen. 01.08.2009. Verkkoaineisto. ABB Oy. <http://www.abb.fi/cawp/seitp202/df29b11b6e72df51c12575380021d7ec.aspx> Luettu 30.5.2017
- 4 Internet. 2017. Verkkoaineisto. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Internet> Luettu 31.10.2017
- 5 Internet of Things (IoT) Preliminary Report 2014. 2015. Verkkoaineisto. International Organization of Standardization. https://www.iso.org/files/live/sites/iso-org/files/developing_standards/docs/en/internet_of_things_report-jtc1.pdf Luettu 30.10.2017
- 6 Santucci, Gérald. The Internet of Things: Between the Revolution of Internet and the Metamorphosis of Objects. Verkkoaineisto. <http://cordis.europa.eu/fp7/ict/enet/documents/publications/iot-between-the-internet-revolution.pdf> Luettu 31.10.2017
- 7 Meriläinen, Ulla. Operaattorit virittävät jo tukiasemiaan huippunopeaan mobiili-verkkoon – ”5G mullistaa etenkin liikenteen”. 13.9.2017. Verkkoaineisto. Yle Uutiset. <https://yle.fi/uutiset/3-9822998> Luettu 30.10.2017
- 8 Machine to machine. Verkkoaineisto. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Internet> Luettu 31.10.2017
- 9 IEEE 802.11 (Wi-Fi). Verkkoaineisto. Atmel. <http://www.atmel.com/products/wireless/wifi/default.aspx> Luettu 31.10.2017
- 10 SigFox. Verkkoaineisto. Atmel. <http://www.atmel.com/products/wireless/sigfox/default.aspx> Luettu 31.10.2017
- 11 Bluetooth. Verkkoaineisto. Atmel. <http://www.atmel.com/products/wireless/bluetooth/default.aspx> Luettu 31.10.2017
- 12 Carr, Joseph. 2001. The Technician's Radio Receiver Handbook: Wireless and Telecommunication Technology. Boston: Newnes.

- 13 Webster , John G., Halit Eren. 2014. Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook, Second Edition: Electromagnetic, Optical, Radiation, Chemical and Biological Measurement. Florida: CRC Press.
- 14 Freeman, Roger L. 1999. Fundamentals of Telecommunications. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- 15 Grini, Dag. RF Basics, RF for Non-Engineers. Verkkoaineisto. Texas Instruments 2006. <http://www.ti.com/lit/ml/slap127/slap127.pdf> Luettu 1.11.2017
- 16 LoRa Alliance. LoRa Alliance Technology. Verkkoaineisto. <https://www.lora-alliance.org/technology> Luettu 24.10.2017
- 17 SigFox. What is SigFox? Verkkoaineisto. <https://build.sigfox.com/steps/sigfox> Luettu 1.11.2017.
- 18 T. Sridhar. Wireless LAN Switches â€™ Functions and Deployment - The Internet Protocol Journal - Volume 9, Number 3. Verkkoaineisto. Flextronics. <https://www.cisco.com/c/en/us/about/press/internet-protocol-journal/back-issues/table-contents-13/wireless-lan-switches.html> Luettu 1.11.2017
- 19 Miceli, Andrew. 2003. Wireless Technician's Handbook Second Edition. Massachusetts: Artech House Inc.
- 20 Loughridge, Jeff. The Case for IP Backhaul - The Internet Protocol Journal, Volume 14, No. 3. Verkkoaineisto. Brooks Consulting LLC. <https://www.cisco.com/c/en/us/about/press/internet-protocol-journal/back-issues/table-contents-53/143-backhaul.html> Luettu 31.10.2017
- 21 Makezine. Arduino Announces New Brand, Genuino, Manufacturing Partnership with Adafruit. Verkkoaineisto. <https://makezine.com/2015/05/16/arduino-adafruit-manufacturing-genuino> Luettu 1.11.2017
- 22 Poole, Ian. GSM Network Architecture. Verkkoaineisto. Radio-Electronics.com. http://www.radio-electronics.com/info/cellular telecomms/gsm_technical/gsm_architecture.php Luettu 1.11.2017
- 23 Arduino. Arduino MKR1000 WIFI. Verkkoaineisto. <https://store.arduino.cc/arduino-mkr1000> Luettu 1.11.2017
- 24 Espressif. ESP32. Verkkoaineisto. <http://espressif.com/en/products/hardware/esp32/overview> Luettu 1.11.2017
- 25 MTV3. Miksi supersuosittu sivut kaatuivat varoittamatta? Verkkoaineisto. 26.03.2010. <https://www.mtv.fi/lifestyle/digi/artikkeli/miksi-supersuosittu-sivut-kaatuivat-varoittamatta/1793562#gs.RL3saW8> Luettu 1.11.2017

- 26 Valtonen, Riikka. Suomi heräsi taloja kylmentäneisiin verkkohyökkäyksiin – Asiantuntija: "Voivat uhata ihmishenkiä". 8.11.2016. Verkkoaineisto. Yle Uutiset. <https://yle.fi/uutiset/3-9278446> Luettu 1.11.2017
- 27 Niilola, Merja. Pankkeja ja mediataloja vastaan hyökänneille raskaat syytteet – nuorukaiset kiistävät rikokset. 20.12.2016. Verkkoaineisto. Yle Uutiset. <https://yle.fi/uutiset/3-9363277> Luettu 1.11.2017
- 28 Rautio, Marjatta. Kelan Kanta-palvelut vaikeuksissa – syynä jälleen palvelunestohyökkäys. 3.6.2017. Verkkoaineisto. Yle Uutiset. <https://yle.fi/uutiset/3-9647957> Luettu 1.11.2017
- 29 Sundqvist, Vesa. Palvelunestohyökkäys haittaa Kanta-palveluiden toimintaa. 27.9.2017. Verkkoaineisto. Yle Uutiset. <https://yle.fi/uutiset/3-9854962> Luettu 1.11.2017
- 30 Saarelainen, Ari. Dos-hyökkäys kaataa nettipalvelun – miten voi suojatua? 24.3.2016. Verkkoaineisto. Tivi.fi. http://www.tivi.fi/Kaikki_uutiset/dos-hyokkays-kaataa-nettipalvelun-miten-voi-suojatua-6535679 Luettu 1.11.2017
- 31 What you need to know about the WannaCry Ransomware. 12.5.2017. Verkkoaineisto. Symantec. <https://www.symantec.com/connect/blogs/what-you-need-know-about-wannacry-ransomware> Luettu 1.11.2017
- 32 Memory Leak. Verkkoaineisto. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Memory_Leak Luettu 31.10.2017
- 33 Treece, Todd. Adding Third Party Boards to the Arduino v.1.6.4+ IDE. 07.05.2015. Verkkoaineisto. Adafruit. <https://learn.adafruit.com/add-boards-arduino-v164/setup> Luettu 1.11.2017
- 34 LoRaWAN: What is it? A technical overview of LoRa and LoRaWAN. 11.2015. Verkkoaineisto. Lora Alliance. https://docs.wixstatic.com/ugd/eccc1a_ed71ea1cd969417493c74e4a13c55685.pdf Luettu 1.11.2017
- 35 Sigfox, the world's leading Internet of things (IoT) connectivity service. Verkkoaineisto. SigFox. <https://www.sigfox.com/en> Luettu 1.11.2017
- 36 LoRaWAN 101: A Technical Introduction. Verkkoaineisto. Lora Alliance. https://docs.wixstatic.com/ugd/eccc1a_20fe760334f84a9788c5b11820281bd0.pdf Luettu 1.11.2017
- 37 Digita rakentaa esineiden internetin mahdollistavan verkon koko Suomeen. 10.2016. Verkkoaineisto. Digita. https://www.digita.fi/yrityksille/digita_news_-artikkelit/iot-verkko_laajenee_koko_suomeen Luettu 24.10.2017

- 38 Radio Technology Keypoints. Verkkoaineisto. SigFox. <https://www.sigfox.com/en/sigfox-iot-radio-technology> Luettu 24.10.2017
- 39 Herman, John. Why Everything Wireless is 2.4GHz. 09.07.2010. Verkkoaineisto. Wired. <https://www.wired.com/2010/09/wireless-explainer> Luettu 1.11.2017
- 40 Paul, Ian. Faster Bluetooth 3.0 Launches With Wi-Fi Twist. 21.04.2009. Verkkoaineisto. PCWorld. <https://www.wired.com/2010/09/wireless-explainer> Luettu 1.11.2017
- 41 Daws, Ryan. Bluetooth ups its IoT cred with mesh networking. 18.07.2017 Verkkoaineisto. IoTNews. <https://www.iottechnews.com/news/2017/jul/18/bluetooth-ups-its-iot-cred-support-mesh-networking> Luettu 1.11.2017
- 42 Poole, Ian. IEEE 802.11 Wi-Fi Standards. Verkkoaineisto. Radio-Electronics.com. <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wi-fi/ieee-802-11-standards-tutorial.php> Luettu 24.10.2017
- 43 Wi-Fi Alliance introduces low power, low range Wi-Fi HaLow. 04.01.2016. Verkkoaineisto. Wi-Fi Alliance. <https://www.wi-fi.org/news-events/newsroom/wi-fi-alliance-introduces-low-power-long-range-wi-fi-halow> Luettu 24.10.2017
- 44 Halminen, Laura, Lehtinen, Toni. Maailman yleisimmässä wifi-verkkojen suojauksessa ammottava tietoturvaluute – erikseen suojatut sivut edelleen turvallisia käyttää. 16.10.2017. Verkkoaineisto. Helsingin Sanomat. <https://www.hs.fi/ulko-maat/art-2000005411201.html> Luettu 16.10.2017
- 45 NIST Internet Time Service. Verkkoaineisto. National Institute of Standards and Technology. <https://www.nist.gov/pml/time-and-frequency-division/services/internet-time-service-its> Luettu 24.10.2017
- 46 About Us. Verkkoaineisto. Nord Pool. <http://www.nordpoolspot.com/About-us> Luettu 24.10.2017
- 47 About. Verkkoaineisto. Espressif. <https://esp-idf.readthedocs.io/en/latest/about.html> Luettu 30.10.2017
- 48 What is Arduino? Verkkoaineisto. Arduino. <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> Luettu 10.10.2017
- 49 NTC Thermistors. Verkkoaineisto. Murata Electronics. <http://www.murata.com/products/thermistor/ntc> Luettu 31.10.2017
- 50 NTC Thermistors. Verkkoaineisto. Murata Electronics. <http://www.mouser.com/ds/2/281/r44e-522712.pdf> Luettu 14.7.2017

- 51 ICT Facts and Figures 2016. Verkkoaineisto. International Telecommunication Union. <http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/ICTFactsFigures2016.pdf> Luettu 10.10.2017
- 52 ISM-Band and Short Range Device Regulatory Compliance Overview. Verkkoaineisto. Texas Instruments. <http://www.ti.com/lit/an/swra048/swra048.pdf> Luettu 30.10.2017
- 53 Digitan LoRaWAN-verkon peittoalue tällä hetkellä. Verkkoaineisto. Digita. <http://digitaiot.navici.com> Luettu 24.10.2017
- 54 Live coverage of SigFox. Verkkoaineisto. SigFox. <https://www.sigfox.com/en/coverage> Luettu 24.10.2017